

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-055789

(43)Date of publication of application : 27.02.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20
G03F 7/20

(21)Application number : 07-136503

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 02.06.1995

(72)Inventor : KOYAMA MOTOO
ICHIHARA YUTAKA

(30)Priority

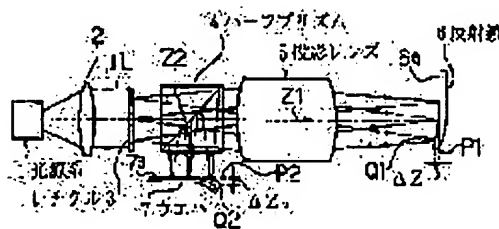
Priority number : 06127480 Priority date : 09.06.1994 Priority country : JP

(54) PROTECTIVE OPTICAL DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To expose the pattern of a reticle with high resolution even to a wafer which is poor in overall flatness, considering a warp, step, etc.

CONSTITUTION: Illumination light IL from a light source 1 illuminates a reticle 3 through a condenser lens 2, and the illumination light IL emitted from the reticle 3 forms a middle image of the pattern of the reticle 3, in the vicinity of the reflection face 6a of a reflector 6 through a half prism 4 and a projective lens 5. The illumination light reflected from the reflection mirror 6a forms the pattern image of the reticle 3 on the surface 7a of a wafer 7 after passing the reflection lens 5 and the half prism 4. The shape of the reflection face of a reflector 6 is changed, according to the shape of the surface of the wafer 7.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

特開平8-55789

(43) 公開日 平成8年(1996)2月27日

(51) Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 0 1			
	5 2 1			
			H 0 1 L 21/ 30	5 1 5 D
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)				

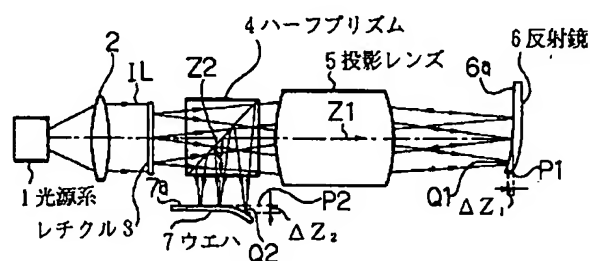
(21) 出願番号	特願平7-136503	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 出願日	平成7年(1995)6月2日	(72) 発明者	小山 元夫 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
(31) 優先権主張番号	特願平6-127480	(72) 発明者	市原 裕 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
(32) 優先日	平6(1994)6月9日	(74) 代理人	弁理士 大森 聡
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 投影光学装置

(57) 【要約】

【目的】 反り又は段差等をも考慮した全体的な平面度の悪いウエハに対しても、レチクルのパターンを高い解像度で露光する。

【構成】 光源系1から射出された照明光 I L は、コンデンサーレンズ2を介してレチクル3を照明し、レチクル3から射出された照明光 I L は、ハーフプリズム4及び投影レンズ5を経て反射鏡6の反射面6 a 付近に、レチクル3のパターンの中間像を形成する。反射面6 a で反射された照明光は、再び投影レンズ5及びハーフプリズム4を経た後、ウエハ7の表面7 a 上にレチクル3のパターン像を結像する。ウエハ7の表面の形状に応じて、反射鏡6の反射面の形状を変化させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクパターンの像を被投影物体の表面上に投影する投影光学装置において、前記マスクパターンの中間像を形成する中間像形成手段と、実質的に前記中間像の形成位置に配置される反射面を有する反射手段と、該反射手段により反射された光束に基づいて、前記被投影物体の表面上に前記マスクパターンの中間像を再結像させる再結像手段とを有し、前記反射手段は、前記被投影物体の表面の変形状態に応じた波面収差を前記中間像形成手段からの光束に付与することを特徴とする投影光学装置。

【請求項2】 前記中間像形成手段と前記再結像手段とは、同一であることを特徴とする請求項1記載の投影光学装置。

【請求項3】 前記被投影物体の表面形状を検出する面形状検出手段と、前記反射手段の反射面の形状を変化させる面形状可変手段とを有し、前記面形状可変手段は、前記面形状検出手段により検出される前記被投影物体の表面形状に基づいて、前記反射手段の反射面の形状を制御することを特徴とする請求項1又は2記載の投影光学装置。

【請求項4】 マスクパターンの像を被投影物体の表面上に投影する投影光学装置において、前記マスクパターンの中間像を互いに異なる第1面及び第2面上に形成する中間像形成手段と、前記第1面及び第2面上に実質的にそれぞれ配置される反射面を有する第1及び第2の反射手段と、該第1及び第2の反射手段により反射された光束を合成し、且つ該合成された光束に基づいて前記被投影物体の表面上に前記中間像を再結像させる再結像手段とを有し、前記第1及び第2の反射手段は、前記中間像形成手段からの光束に前記被投影物体の表面の変形状態に応じた波面収差をそれぞれ付与することを特徴とする投影光学装置。

【請求項5】 前記反射手段は、裏面反射鏡であることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項記載の投影光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、マスクパターンを被投影物体の表面上に投影する投影光学装置に関し、例えば半導体素子又は液晶表示素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される投影露光装置において、レチクル等のパターンを感光基板上に投影する装置として使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】フォトマスク又はレチクル（以下、代表

的に「レチクル」を使用する）のパターンを、フォトリソジストが塗布された半導体ウエハ（以下、単に「ウエハ」という）又はガラスプレート上に投影露光する投影露光装置においては、高解像度の投影光学系が使用されている。一般に解像度を高めるためには、照明光（露光光）の波長を短くするか、投影光学系の開口数（NA）を大きくする必要があるが、投影像の焦点深度（DOF）は、照明光の波長に比例して浅くなると共に、開口数の自乗に反比例して浅くなる傾向にある。

【0003】そのため、半導体素子を例にとると、露光対象とするウエハについて、レチクルのパターンが投影されるショット領域の全面が焦点深度の幅内に収まるように、平面度を高めていた。また、ウエハについては露光後に現像処理等の種々のプロセスを経るため、それらのプロセスを経る過程で反りが生ずることもある。このような反りを含んだウエハの平面度が焦点深度の幅を超える事態を防止するため、従来はウエハの反りが所定の許容値以下になるように、それらプロセスに制約を課していた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述のように従来は、露光対象とするウエハの平面度及び反りが、全体として投影光学系による投影像の焦点深度の幅内に収まるようにしていた。しかしながら、最近、超LSI等の集積度が益々高まり、より高い解像度が要求されているため、焦点深度が更に浅くなっている。そのため、ウエハの平面度をその焦点深度の幅内に収めるのが困難になりつつある。

【0005】また、半導体素子の構造が複雑化するのに応じて、ウエハの処理プロセスが複雑化し、各種プロセスを経ることによるウエハの反り又は段差が大きくなる傾向にある。このような反り又は段差を含むウエハの全体としての平面度が焦点深度の幅を超えると、最終的に得られる半導体素子の歩留まりが低下するという不都合がある。

【0006】更に、投影光学系には僅かの像面湾曲が残存している場合があるが、従来は露光フィールドが狭かったため、ウエハ上の1つのショット領域内での像面湾曲は焦点深度の幅に比べて小さく、特に不都合はなかった。しかしながら、最近では大型のチップパターン等を製造するため、露光フィールドの大きな投影光学系を使用する場合がある。このように露光フィールドが大型化すると、周辺での像面湾曲が大きくなり、露光対象を平面とした場合の実質的な焦点深度の幅が更に浅くなり、ショット領域の全面での結像特性を良好に保つのが困難となる。

【0007】本発明は斯かる点に鑑み、反り又は段差等をも考慮した全体的な平面度の悪いウエハに対しても、レチクルのパターンを高い解像度で露光できる投影光学装置を提供することを目的とする。更に、本発明は、像

面湾曲の大きな投影光学系を使用した場合でも、ウエハの露光面にレチクルのパターンを高い解像度で露光できる投影光学装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の投影光学装置は、例えば図1に示すように、マスクパターン(3)の像を被投影物体(7)の表面(7a)上に投影する投影光学装置において、マスクパターン(3)の中間像を形成する中間像形成手段(4, 5)と、実質的にその中間像の形成位置に配置される反射面(6a)を有する反射手段(6)と、この反射手段により反射された光束に基づいて、その被投影物体の表面(7a)上にそのマスクパターンの中間像を再結像させる再結像手段(5, 4)とを有し、その反射手段は、その被投影物体の表面(7a)の変形状態に応じた波面収差(光路長差)を中間像形成手段(5)からの光束に付与するものである。

【0009】この場合、中間像形成手段(4, 5)と再結像手段(5, 4)とを、同一としてもよい。また、例えば図2に示すように、被投影物体(7)の表面形状を検出する面形状検出手段(13A~13C, 14A~14C)と、その反射手段の反射面(6a)の形状を変化させる面形状可変手段(9A~9E)とを設け、その面形状可変手段は、その面形状検出手段により検出される被投影物体(7)の表面形状に基づいて、その反射手段の反射面(6a)の形状を制御することが望ましい。

【0010】また、本発明の第2の投影光学装置は、例えば図5に示すように、マスクパターン(3)の像を被投影物体(7)の表面(7a)上に投影する投影光学装置において、マスクパターン(3)の中間像を互いに異なる第1面(P3)及び第2面(P4)上に形成する中間像形成手段(5, 4)と、それら第1面及び第2面上に実質的にそれぞれ配置される反射面(6a, 20a)を有する第1及び第2の反射手段(6, 20)と、これら第1及び第2の反射手段により反射された光束を合成し、且つこのように合成された光束に基づいてその被投影物体の表面(7a)上にその中間像を再結像させる再結像手段(4, 17)とを有し、それら第1及び第2の反射手段は、中間像形成手段(5, 4)からの光束にその被投影物体の表面(7a)の変形状態に応じた波面収差をそれぞれ付与するものである。これらにおいて、反射手段(6, 20)として裏面反射鏡を用いてもよい。

【0011】

【作用】斯かる本発明の第1の投影光学装置によれば、マスクパターン(3)からの光は中間像形成手段(4, 5)を介して、反射手段の反射面(6a)近傍にマスクパターンの中間像を形成し、その反射面(6a)から反射された光が、再結像手段(5, 4)を介して被投影物体の表面(7a)上にその中間像を再結像する。この際、例えば被投影物体の表面(7a)上の点Q2が凹ん

でいる場合には、その点Q2と共役なその反射面(6a)上の点Q1を凸部として、中間像形成手段(4, 5)からの光束に波面収差(光路長差)を付与する。これにより、表面(7a)上の点Q2にもマスクパターン(3)が鮮明に投影される。

【0012】また、被投影物体の表面(7a)が平坦であつても、中間像形成手段(4, 5)により形成される中間像に像面湾曲がある場合には、その像面湾曲に合わせて反射手段の反射面(6a)を湾曲させる。これにより、被投影物体の表面(7a)にマスクパターンの像が鮮明に投影される。次に、中間像形成手段(4, 5)と再結像手段(5, 4)とが同一である場合、例えば図1に示すように、中間像形成手段(4, 5)はハーフプリズム等の光束分離手段(4)と投影系(5)とを有する。そして、マスクパターン(3)の中間像が光束分離手段(4)及び投影系(5)を介して反射手段の反射面(6a)付近に形成され、その中間像が再び投影系(5)及び光束分離手段(4)を介して被投影物体の表面(7a)上に再結像される。この場合、マスクパターン(3)からその表面(7a)上への投影倍率は1倍である。

【0013】また、被投影物体(7)の表面(7a)の形状を検出する面形状検出手段(13A~13C, 14A~14C)と、その反射手段の反射面(6a)の形状を変化させる面形状可変手段(9A~9E)とを設けた場合、例えばその面形状検出手段により検出される表面(7a)の中央が凹んでいる場合、その面形状可変手段は、その反射面(6a)の中央部を凸部として中間像形成手段(4, 5)からの光束に波面収差(光路長差)を付与する。これにより、多数の被投影物体(7)に順次露光を行う場合で、その表面(7a)の形状が種々に変化するような場合でも、その表面(7a)にそれぞれマスクパターンを高い解像度で露光できる。

【0014】次に、本発明の第2の投影光学装置によれば、2つの反射面(6a, 20a)付近にそれぞれ中間像が形成され、それら反射面(6a, 20a)からの反射光が合成されて、被投影物体の表面(7a)上にその中間像が再結像される。この際、例えば一方の反射面(6a)を第1面(P3)に対してマスクパターンに近い側にずらし、他方の反射面(20a)を第2面(P4)に対してマスクパターンから遠避かる側にずらすことにより、被投影物体の表面(7a)を挟む第1投影面(23A)及び第2投影面(23B)上にマスクパターンの像が結像される。即ち、二重焦点効果により焦点深度が深まる。

【0015】

【実施例】以下、本発明の種々の実施例につき図面を参照して説明する。以下の実施例は投影露光装置に本発明を適用したものである。

【第1実施例】図1は、本発明の第1実施例が適用され

た投影露光装置を示し、この図1において、光源系1は照明光（露光光）を発生する水銀ランプ、又はエキシマレーザ光源等の露光光源、及びその照明光から多数の二次光源を形成するオブティカル・インテグレート等から構成されている。光源系1から射出された照明光ILは、コンデンサーレンズ2を介して略々均一な照度分布でレチクル3のパターン領域を照明する。レチクル3から射出された照明光ILはハーフプリズム4に入射し、ハーフプリズム4を透過した照明光が、投影レンズ5を経て反射鏡6の反射面6a付近の第1面P1上に、レチクル3のパターンの中間像を形成する。

【0016】即ち、レチクル3のパターン形成面と第1面P1とは共役であり、後述のように露光対象とするウエハ7の表面形状に応じて、反射鏡6の反射面6aはその第1面P1に対して凹凸を付した形状となっている。これにより、投影レンズ5からの光束に対して所定の分布で波面収差（光路長差）が付与される。反射鏡6の反射面6aで反射された照明光は、再び投影レンズ5を逆に辿ってハーフプリズム4に戻り、ハーフプリズム4で反射された照明光が、ウエハ7の表面7aのショット領域上にレチクル3のパターン像を結像する。ウエハ7の表面7a上にはフォトリソが塗布され、ウエハ7は不図示のウエハステージ上に保持され、このウエハステージがウエハ7を3次元的に位置決めする。

【0017】この場合、第1面P1と投影レンズ5及びハーフプリズム4に関して共役な面を第2面P2とすると、ウエハ7の表面7aは平均として第2面P2上に設定されているが、その表面7aが部分的に第2面P2から外れている。投影レンズ5の光軸に平行にZ1軸を取り、その光軸をハーフプリズム4で折り曲げた光軸をZ2軸として、例えばその表面7a上の点Q2が、第2面P2からZ2方向に ΔZ_2 （ハーフプリズム4から離れる方向を+とする）だけずれているものとするそして、投影レンズ5のレチクル3から反射鏡6への倍率を β として、反射鏡6の反射面6a上でウエハ7上の点Q2と共役な点を点Q1とすると、点Q1のZ1方向の位置（投影レンズ5に近づく方向を+とする）を、次式で定まる ΔZ_1 だけずらすように反射面6aを変形させる。

$$\Delta Z_2 = 2(1/\beta^2)\Delta Z_1 \quad (1)$$

$$\Delta Z_1 = (\beta^2/2)\Delta Z_2 \quad (2)$$

即ち、ウエハ7の表面7aの点Q2の変形量 ΔZ_2 に対して、それと共役な反射鏡6の反射面6aの点Q1には、投影レンズ5の倍率 β の自乗の $1/2$ をその変形量 ΔZ_2 に乗じた量 ΔZ_1 だけの変形量を与える。例えば投影レンズ5が等倍（ $\beta = -1$ ）の場合には、反射面6aの変形量 ΔZ_1 は、ウエハ7の表面7aの変形量 ΔZ_2 の $1/2$ となる。次に、ウエハ7の表面7aのショット領域上の各点の変形量に対して、それぞれ（2）式で定まる変形量を反射鏡6の表面6aの共役点に与える。これにより、ウエハ7の表面7aのショット領域の全面

に、第1面P1に形成される中間像、即ちレチクル3のパターン像が合焦した状態で再結像される。

【0019】上述のように本実施例によれば、図1のようにウエハ7が反っている場合でもそれに応じて反射鏡6の反射面6aの形状を変形させることにより、ウエハ7の表面7aのショット領域全体に合焦した状態で（高い解像度で）レチクル3のパターン像を露光できる。また、本実施例のように中間像の形成、及びウエハ7の表面での再結像を同一の投影レンズ5で行う場合、少なくとも中間像を結像する側（反射鏡6の側）はテレセントリックであることが望ましい。テレセントリック性が良くない場合、反射鏡6で反射された後の光束がケラレる場合があり、このときにはウエハ7上に再結像された像の均質性及び像の照度均一性が悪くなる。

【0020】更に、本実施例では中間像の形成、及びウエハ7の表面での再結像を同一の投影レンズ5で行っているため、レチクル3からウエハ7上への投影倍率は1倍（等倍）となるが、光学系の構成が簡略である。また、本実施例において、ウエハ7の表面が平坦であっても、投影レンズ5に像面湾曲がある場合には、投影レンズ5による投影像の湾曲に合わせて反射鏡6の反射面6aを湾曲させる。そして、更にウエハ7の表面が反っている場合には、その反り量に応じて更に反射鏡6の反射面6aを変形させる。これにより、投影レンズ5に像面湾曲があっても、且つウエハ7が反っていても、ウエハ7の表面のショット領域全面にレチクル3のパターン像を高い解像度（合焦状態）で露光できる。

【0021】更に、レチクル3の平面度が悪く、レチクル3のパターンの投影レンズ5による投影像が湾曲している場合には、その湾曲を相殺するように反射鏡6の反射面6aの形状を変形させてもよい。これによりウエハ7上にはレチクル3のパターン像が合焦して露光される。なお、本実施例においては、レチクル3から中間像までが同一光軸上に配置され、最終像面がハーフプリズム4で折り曲げた光軸上に形成される構成とされているが、中間像と最終像とが同一の光軸上になるように、レチクル3からの入射光をハーフプリズム4で折り曲げて投影レンズ5に入射させるような構成としてもよい。

【0022】〔第2実施例〕図2は本発明の第2実施例が適用された投影露光装置を示し、この図2において図1に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。図2において、反射鏡6としては、或る程度薄く、容易に変形できるものを使用し、反射鏡6を2次元的に分布した伸縮自在のピエゾ素子9A～9E（以下、これで全体のピエゾ素子を代表する）を介してベース8上に支持し、ピエゾ素子9A～9Eの伸縮量を駆動系10により個別に制御する。このように反射鏡6の裏面の所定の場所を押し引きすることにより、反射鏡6の反射面6aの形状を全体として所望の形状に設定する。ピエゾ素子9A～9Eの代わりに、他の電歪素子、磁歪

素子、又は押しねじ方式の伸縮機構等が使用できる。

【0023】また、反射鏡6の表面6aに投影レンズ5の光軸に対して斜めに、2次的に分布する多数の投射光学系10A~10C（以下、これで全体の投射光学系を代表する）からそれぞれスリットパターン像を投影する。そして、その表面6aからの反射光を2次的に分布する多数の受光光学系11A~11C（以下、これで全体の受光光学系を代表する）で受光し、受光光学系11A~11Cにおいてそれぞれ対応するスリットパターン像を再結像し、この再結像された位置の横ずれ量に対応するフォーカス信号を生成し、これらフォーカス信号を装置全体の動作を制御する主制御系12に供給する。投射光学系10A~10C及び受光光学系11A~11Cより、斜入射方式の多点面形状検出機構が形成されている。なお、投射光学系10A~10Cは、スリットパターン像を投影するものには限られない。

【0024】この場合、反射鏡6の反射面6aが投影レンズ5の結像面に合致しているときにそれらフォーカス信号が例えば0となるようにキャリブレーションを行っておく。そして、反射面6aが投影レンズ5の光軸に平行なZ1方向に変位すると、受光光学系11A~11C内で再結像されるスリットパターン像の位置が横ずれしてフォーカス信号が変化することから、主制御系12はその反射面6aの凹凸の分布を算出できる。

【0025】同様に、ウエハ7の表面の凹凸分布を計測するために、投射光学系10A~10C、及び受光光学系11A~11Cに対応させて投射光学系13A~13C、及び受光光学系14A~14Cが配置され、受光光学系14A~14Cからのフォーカス信号が主制御系12に供給されている。この場合のフォーカス信号は、ウエハ7の表面の、投影レンズ5の光軸をハーフプリズム4で折り曲げたZ2軸に沿った変位に対応して変化し、主制御系12はそれらフォーカス信号より、投影レンズ5及びハーフプリズム4による結像面に対するウエハ7の表面の凹凸の分布を算出する。

【0026】本実施例において、主制御系12は、先ず露光前に、受光光学系14A~14Cからのフォーカス信号を用いてウエハ7の表面形状の結像面からのずれ量の分布を算出する。そして、そのずれ量の分布に応じて駆動系10を介してピエゾ素子9A~9Eの伸縮量を調整し、受光光学系11A~11Cからのフォーカス信号を用いて算出される反射鏡6の反射面6aの形状の結像面からのずれ量の分布を、ウエハ7の表面形状のずれ量の分布に対して（2）式の関係に設定する。その後、光源系1から照明光ILを射出させてレチクル3のパターン像をウエハ7の表面に露光する。これにより、ウエハ7が反っている、ウエハ7の表面のショット領域全面にレチクル3のパターン像が高い解像度（合焦状態）で露光される。

【0027】また、投影レンズ5に像面湾曲がある場

合、又はレチクル3の平面度が悪い場合には、それぞれ反射鏡6の表面6aの形状に対応する変位を重ねることにより、ウエハ7の表面のショット領域全面にレチクル3のパターン像が合焦状態で露光される。なお、図1及び図2の実施例ではハーフプリズム4が使用され、照明光ILがそのハーフプリズム4を2回通過するため、レチクル3を透過した照明光ILの内の約75%程度が損失となる。このような光量損失を減少させるために、図2に示すように、ハーフプリズム4を偏光ビームスプリッター16で置き換えて、且つ投影レンズ5と反射鏡6との間に1/4波長板15を配置してもよい。このような構成とすると、レチクル3を照明する照明光ILの偏光状態がランダム偏光の場合、偏光ビームスプリッター16を通過するのはその照明光ILの約50%のP偏光成分であり、このP偏光成分は、投影レンズ5、1/4波長板15、反射鏡6、1/4波長板15、及び投影レンズ5を経てS偏光として偏光ビームスプリッター16に戻る。このS偏光成分はほぼ全部が反射されてウエハ7に向かう。従って、光量損失が約50%程度で済むという利点がある。

【0028】また、偏光ビームスプリッター16により投影レンズ5のゴースト光（迷光）も除去できる利点がある。1/4波長板15は、偏光ビームスプリッター16よりも中間像側（反射鏡6側）であれば光路中のどこに挿入しても構わないが、投影レンズ5のゴースト光除去の効果を享受するためには、投影レンズ5よりも中間像側に挿入することが望ましい。

【0029】〔第3実施例〕図3は本発明の第3実施例が適用された投影露光装置を示し、この図3において図2に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。図3において、ハーフプリズム4を投影レンズ5に対して反射鏡6側（中間像側）に配置し、ハーフプリズム4とウエハ7との間に最終像結像レンズとしての投影レンズ17を配置する。この場合、レチクル3を通過した照明光が、投影レンズ5、及びハーフプリズム4を介して反射鏡6の反射面6a付近にレチクル3の中間像を結像し、反射鏡6で反射された照明光が、ハーフプリズム4で反射された後、投影レンズ17を経てウエハ7の表面7a上にその中間像を再結像する。反射鏡6の作用については第1実施例及び第2実施例と同様である。

【0030】本実施例では、中間像形成及び最終像形成に別々の投影レンズ5及び17を用いているため、レチクル3のパターンの大きさとウエハ7上の投影像の大きさととの比を1以外の所望の値に設定できる。具体的に、投影レンズ5のレチクル3から反射鏡6への倍率を β 、投影レンズ17の反射鏡6からウエハ7への倍率を β_2 として、レチクル3からウエハ7への倍率は $\beta \cdot \beta_2$ となる。

【0031】また、本実施例では、投影レンズ5及び1

7はそれぞれ必ずしもテレセントリックである必要はない。また、図2の第2実施例のように、ハーフプリズム4の代わりに偏光ビームスプリッター16を用い、更に光路中のその偏光ビームスプリッター16から中間像側に1/4波長板15を挿入してもよく、これにより光量損失を減少できる。

【0032】〔第4実施例〕図4は本発明の第4実施例が適用された投影露光装置を示し、この図4において図2に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。図4において、ハーフプリズム4で反射された照明光により結像面19B上にレチクル3のパターンの中間像が再結像される。その結像面19Bの下方に順次、変倍レンズ18及びウエハ7を配置し、その結像面19B上の中間像を投影レンズ18を介してウエハ7の表面7a上に再結像する。変倍レンズ18は、物体面と像面とを固定した状態で倍率を可変にできる投影レンズである。なお、変倍レンズ18の代わりに、所定の固定倍率を持つ投影レンズを用いてもよい。

【0033】本実施例において、反射鏡6の作用は上述実施例と同様であり、ウエハ7の表面7aの反りに応じて、反射鏡6の反射面6aの形状を変化させる。これにより、その反射面6aの近傍の曲面よりなる結像面19A上にレチクル3の第1中間像が結像され、その結像面19Aと投影レンズ5及びハーフプリズム4に関して共役な曲面よりなる結像面19B上に第2中間像が結像され、結像面19Bと変倍レンズ18に関して共役な曲面と合致するウエハ7の表面7aに最終像が結像される。従って、レチクル3のパターン像がウエハ7の表面に合焦した状態で投影露光される。

【0034】本実施例では、変倍レンズ18により、レチクル3のパターンを所望の倍率でウエハ7上に投影できる。また、本実施例でも、図2の第2実施例のようにハーフプリズム4の代わりに偏光ビームスプリッター16を用い、更に光路中に1/4波長板15を挿入した構成としてもよい。1/4波長板15は、偏光ビームスプリッター16よりも第1中間像側（反射鏡6側）であれば光路中のどこに挿入しても構わないが、投影レンズ5のゴースト光除去の効果を享受するためには、投影レンズ5から第1中間像側に挿入することが望ましい。

【0035】〔第5実施例〕図5は本発明の第5実施例が適用された投影露光装置を示し、この図5において図3に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。その図3の実施例では、投影レンズ5からハーフプリズム4に入射してハーフプリズム4で反射された照明光はそのまま損失となってしまう。それを避けるため、本実施例では、図5において、ハーフプリズム4で反射された照明光によるレチクル3の中間像の結像面P4付近に反射鏡20の反射面20aを配置し、ベース21上に2次元的に分布したピエゾ素子22A～22E（これで全体のピエゾ素子を代表する）を介して反射鏡

20を支持する。ピエゾ素子22A～22Eにより反射鏡20の裏面を押し引きすることにより、反射鏡20の反射面20aの凹凸分布を所望の分布に設定する。また、ハーフプリズム4を透過した照明光によるレチクル3の中間像の結像面P3付近に反射鏡6の反射面6aが配置されている。

【0036】この場合、反射鏡6で反射された照明光の内でハーフプリズム4により反射された光、及び反射鏡20で反射された照明光の内でハーフプリズム4を透過した光が、合成された状態で投影レンズ17を介してウエハ7の表面7a上にレチクル3のパターン像を結像する。反射鏡6の作用は上述実施例と同様であり、反射鏡20の作用は反射鏡6と同様である。本実施例では、ハーフプリズム4で反射された照明光、即ち第3実施例では損失となっていた光束を有効利用できる。結果として、本実施例では第3実施例と比較して約2倍の光量を得ることができる。

【0037】ところで、例えば図3の第3実施例では最終結像面と反射鏡6の表面とが共役の関係となっているため、反射鏡6の表面の塵あるいは傷といったものが最終結像面（ウエハ7の表面）に転写され易い。これに対して、図5の本実施例では2枚の反射鏡6及び20を使用しているため、一方の反射鏡の塵あるいは傷の像が他方の反射鏡の像により相殺され、反射鏡6及び20の表面の塵あるいは傷の影響を減らすことができる。

【0038】また、図5に示すように、一方の反射鏡6の反射面6aを焦点深度を大きく越えない程度で、例えば結像面P3に対して投影レンズ5の光軸方向に投影レンズ5から離れる方向に設定し、他方の反射鏡20の反射面20aを焦点深度を大きく越えない程度で、例えば結像面P4に対して投影レンズ5の光軸方向に投影レンズ5に近づく方向に設定し、2枚の反射面6a及び20aの位置にオフセットを設けてもよい。これにより、ウエハ7の表面7aを投影レンズ17の光軸方向で挟むように配列された2つの面23A及び23Bに、それぞれレチクル3のパターン像が結像される。従って、ウエハ7の表面7a上では二重焦点レンズを介して投影した場合と同様の効果が得られ、投影像の焦点深度が実質的に増大される。

【0039】なお、図5の構成ではハーフプリズム4を用いているため、ハーフプリズム4により約50%程度の光量損失が生じる。これを避けるために、図5において、ハーフプリズム4を偏光ビームスプリッター16で置き換えて、且つ偏光ビームスプリッター16と反射鏡6との間、及び偏光ビームスプリッター16と反射鏡20との間にそれぞれ1/4波長板15A及び15Bを配置するとよい。

【0040】この場合、偏光ビームスプリッター16を透過したP偏光成分は、1/4波長板15A、反射鏡6及び1/4波長板15Aを経てS偏光として偏光ビーム

スプリッター１６に戻り、そのＳ偏光成分はほぼ全部が反射されて投影レンズ１７に向かう。一方、偏光ビームスプリッター１６で反射されたＳ偏光成分は、１／４波長板１５Ｂ、反射鏡２０及び１／４波長板１５Ｂを経てＰ偏光として偏光ビームスプリッター１６に戻り、そのＰ偏光成分はほぼ全部が透過して投影レンズ１７に向かう。従って、偏光ビームスプリッター１６における光路分割による光量損失をほぼ０に抑えることができる。

【００４１】〔第６実施例〕図６は本発明の第６実施例が適用された投影露光装置を示し、この図６において図２及び図５に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。この場合、図２の実施例では、ハーフプリズム４に入射した照明光の内、ハーフプリズム４で反射された照明光がそのまま損失となってしまう。そこで、図６の本実施例では、ハーフプリズム４に関してウエハ７と対称な方向に順に、投影レンズ５と同一の第２の投影レンズ２４及び第２の反射鏡２０を設置する。ハーフプリズム４により反射された照明光が、投影レンズ２４を介してレチクル３の中間像を形成する位置の近傍に反射鏡２０の反射面２０ａが設定されている。

【００４２】この場合、反射鏡２０で反射された照明光の中で、再び投影レンズ２４を介してハーフミラー４に戻った後にハーフプリズム４を透過した光が、反射鏡６により反射され投影レンズ５を介してハーフプリズム４に戻った後にハーフプリズム４で反射された光と共に、ウエハ７の表面７ａ上にレチクル３のパターン像を結像する。反射鏡６の作用は第２実施例と同様であり、反射鏡２０の作用は反射鏡６の作用と同様である。

【００４３】本実施例では、ハーフプリズム４により反射分割された光線の光軸上に第２の投影レンズ２４を配置し、更にその像面近傍に第２の反射鏡２０を配置しているため、第２実施例では損失となっていた光束を有効利用できる。結果として、本実施例では第２実施例と比較して、ウエハ７の表面で約２倍の光量を得ることができる。また、この構成により図５の実施例と同様に、反射鏡６及び２０上の塵、傷等の影響を減らすことができる。更に、一方の反射鏡６又は２０の位置に対応する投影レンズの光軸方向にオフセットを設けることにより、実質的に焦点深度を増大させることができる。

【００４４】なお、図６の実施例では、ハーフプリズム４を使用しているため、このハーフプリズム４により約５０％程度の光量損失が生じる。これを避けるため、ハーフプリズム４の代わりに偏光ビームスプリッター１６を配置し、投影レンズ５と反射鏡６との間に第１の１／４波長板１５Ａを配置し、投影レンズ２４と反射鏡２０との間に第２の１／４波長板１５Ｂを配置してもよい。これにより、偏光ビームスプリッター１６における光路分割による光量損失をほぼ０に抑えることができる。

【００４５】なお、１／４波長板１５Ａ及び１５Ｂは、偏光ビームスプリッター１６よりも中間像側であれば光

路中のどこに挿入しても構わないが、投影レンズ５及び２４のゴースト光除去の効果を享受するためには、それぞれ投影レンズ５及び２４から中間像側に挿入することが望ましい。ところで、上述実施例では最終結像面と反射鏡とがほぼ共役の関係となっているため、例えば図１において、反射鏡６の表面の塵あるいは傷といったものが最終結像面であるウエハ７の表面上に転写され易い。そこで、収差及び像面可変効果に重大な悪影響を与えない範囲で、反射鏡６を最終結像面に対して光軸方向（Ｚ１方向）にオフセットを設けて配置してもよい。これにより、塵又は傷等の影響を減らすことができる。

【００４６】また、例えば図２の実施例では、斜入射方式の多点表面形状検出機構を用いて、反射鏡６の表面６ａの形状制御を開ループ方式で行っている。しかしながら、ピエゾ素子９Ａ～９Ｅの伸縮量とその表面６ａの変位量とはほぼ同一であるため、その表面６ａの形状制御を開ループ方式で行ってもよい。更に、実際にレチクル３を通過した照明光を最終像面（ウエハ７の表面）の位置に配置した像点検出機構で検出して像面形状を求める構成とし、その像点検出機構で検出された信号を表面形状制御部にフィードバックするという閉ループ制御で反射鏡６の反射面の形状を制御してもよい。

【００４７】また、例えば図１の実施例においては、反射鏡６の反射面６ａの形状に応じて投影レンズ５及びハーフプリズム４による結像面の形状を任意の曲面に設定できる。従って、ウエハ７の代わりに、平面以外の面形状を持った被転写体、例えば表面が球面のウエハ（球面ウエハ）、表面が球面の球面液晶基板等にレチクル３のパターンを露光する際には、その反射面６ａの形状に対応する形状に設定することにより、その被転写体の全面にレチクル３のパターンを高い解像度で露光できる。

【００４８】また、上述の実施例における反射鏡６（反射鏡２０）は、裏面反射鏡であっても良い。例えば図７に示すように、石英等から構成されるガラス基材２５の裏面に蒸着等の手法により反射面２５ａを設け、この反射面２５ａを保護するための基材２６を反射面の裏側に設ける。この基材２６を２次元的に分布した伸縮自在のピエゾ素子２８Ａ～２８Ｎ（これで全体のピエゾ素子を代表する）を介してベース２７上に支持する。このピエゾ素子２８Ａ～２８Ｎは、図２の実施例と同様に図示なき駆動系により個別に制御される。これにより、ガラス基材２５の裏面に設けられた反射面２５ａは、全体として所望の形状に設定される。ここで、図７に示す裏面反射鏡を本発明の各実施例に適用する際には、各実施例における投影レンズ５（または１７、２４）は、ガラス基材２５を考慮して光学設計がなされる。

【００４９】上記の如き図７の例では、反射面２５ａを雰囲気中に露出していないため、この反射面にゴミ等の異物の付着を招くことがない利点を奏する。また、図７の例では、反射面２５ａの裏面に基材２６を設けている

ため、ピエゾ素子 28 A ~ 28 N による押し引きの際に反射面 25 a が損傷する恐れが非常に少ない利点がある。なお、図 7 の例においては、反射面 25 a の裏面に設けられる基材 26 は、ガラス基材 25 とほぼ同じ物理的特性（例えば熱膨張係数、弾性係数等）を有することが望ましい。このように本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0050】

【発明の効果】本発明の第 1 の投影光学装置によれば、被投影物体の表面の変形状態に応じて反射手段の反射面の形状を変形させているため、反り又は段差等をも考慮した全体的な平面度の悪い被投影物体（ウェハ等）に対しても、マスク（レチクル等）のパターンを高い解像度で露光できる利点がある。

【0051】また、更にその反射手段の反射面の形状を中間像結像手段の像面湾曲に対応して湾曲させることにより、像面湾曲の大きな中間像結像手段を使用した場合でも、被投影物体の表面にマスクパターンを高い解像度で露光できる。また、中間像形成手段と再結像手段とを同一とした場合には、光学系の構成が簡略である。

【0052】更に、面形状可変手段が、面形状検出手段により検出された被投影物体の表面形状に基づいて、反射手段の反射面の形状を制御する場合には、一連の被投影物体の表面形状がそれぞれ異なっている、各被投影物体の表面にマスクパターンを高い解像度で露光できる。

【0053】次に、本発明の第 2 の投影光学装置によれば、被投影物体の表面の変形状態に応じて 2 つの反射手段の反射面の形状を変形させているため、反り又は段差等をも考慮した全体的な平面度の悪い被投影物体に対しても、マスクパターンを高い解像度で露光できる利点がある。しかも、1 つの反射手段を用いる場合と比べて、照明光の利用効率がほぼ 2 倍になる。更に、2 つの反射手段の反射面のマスクパターンの中間像の結像面に対する位置にオフセットを設けることにより、被投影物体上

で二重焦点効果が生じ、実質的な焦点深度が深くなる利点もある。また、本発明の第 1 又は第 2 の投影光学装置において、反射手段を裏面反射鏡で構成すれば、反射手段の反射面には異物が付着することがないという優れた利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による投影光学装置の第 1 実施例が適用された投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 2】本発明による第 2 実施例が適用された投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 3】本発明による第 3 実施例が適用された投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 4】本発明による第 4 実施例が適用された投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 5】本発明による第 5 実施例が適用された投影露光装置を示す概略構成図である。

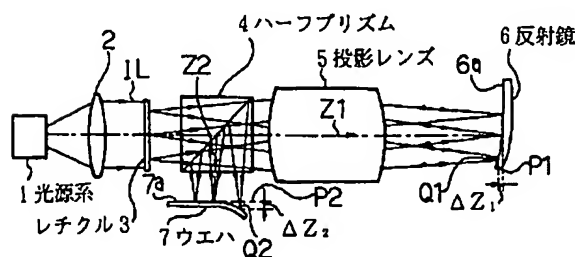
【図 6】本発明による第 6 実施例が適用された投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 7】反射鏡の変形例を示す概略構成図である。

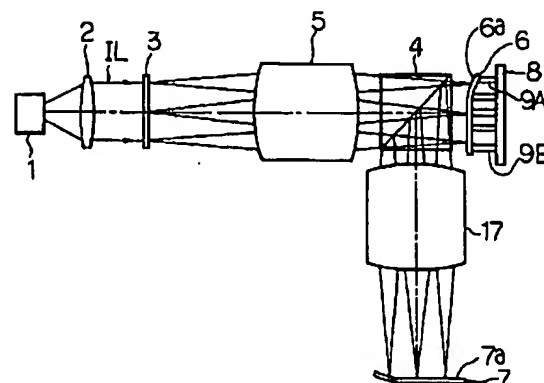
【符号の説明】

- 1 光源系
- 2 コンデンサーレンズ
- 3 レチクル
- 5 投影レンズ
- 6 反射鏡
- 7 ウェハ
- 8 ベース
- 9 A ~ 9 E ピエゾ素子
- 10 駆動系
- 12 主制御系
- 13 A ~ 13 C 投射光学系
- 14 A ~ 14 C 受光光学系
- 15 1/4 波長板
- 16 偏光ビームスプリッター
- 17 投影レンズ
- 20 反射鏡

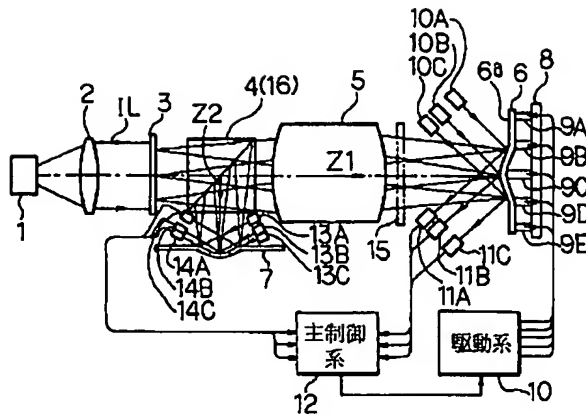
【図 1】



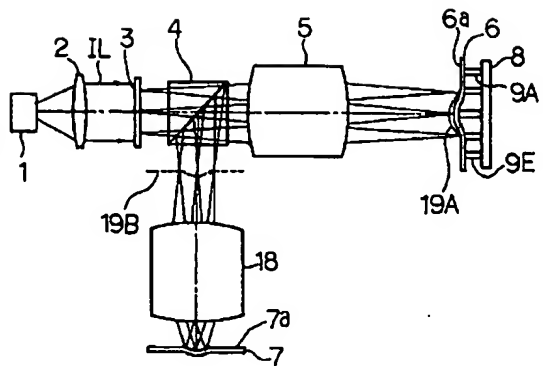
【図 3】



【図2】

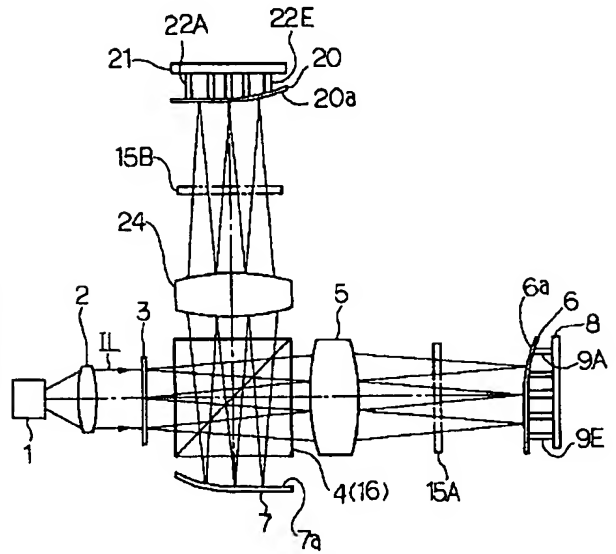
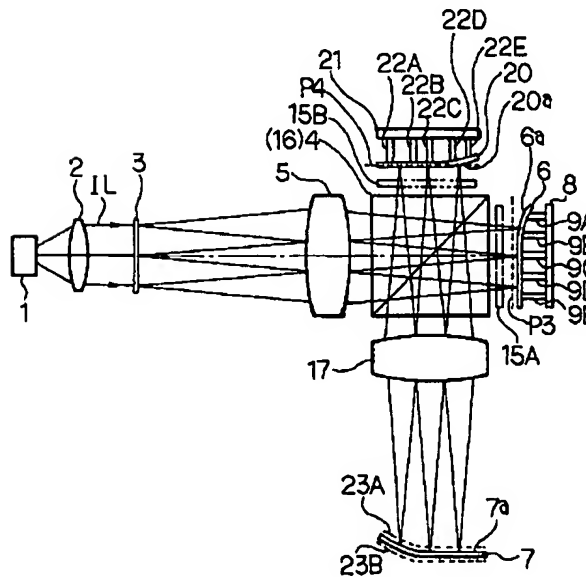


【図4】



【図6】

【図5】



【図7】

